

Colloque Météorologie et Transport Aérien

Prévision des conflits et connaissance du vent

Comment tirer le meilleur parti de la prévision du vent

Vers une assistance automatisée de plus en plus extensive
au contrôleur de la circulation aérienne

Décembre 2010

(version 3)

Contribution personnelle

J.Villiers¹

Membre de l'Académie de l'Air et de l'Espace

RESUME

Au stade actuel, les ordinateurs assurent l'acquisition et la présentation des informations au profit des contrôleurs, mais ne participent que d'une manière marginale à la *prévision* des conflits et pas encore à la *résolution des conflits*.

La présente contribution se propose d'analyser le *croisement des causes météorologiques et humaines* à l'origine de cette situation et de mieux faire connaître comment un nouveau *procédé de contrôle* permet de les contourner.

La *météorologie* intervient du fait que la conduite des vols s'effectue en vitesse/air, d'où il résulte que la notion de conflit entre deux avions constitue une donnée *aléatoire et évolutive* ; par ailleurs, la répartition statistique des erreurs sur la prévision du vent ne peut pas être considérée comme gaussienne et peut être affectée de « queues de distribution » de grande amplitude.

La *source humaine* résulte notamment du *flou des prévisions faites* par les contrôleurs comparé à la précision atteinte par l'ordinateur en tenant compte du vent prévu. Il en résulte qu'une proposition de résolution d'un conflit faite par l'ordinateur a peu de chance de coïncider avec les solutions que le contrôleur a élaborées et s'apprête à mettre en œuvre dans le cadre d'une stratégie évolutive portant sur l'analyse de l'ensemble du trafic. En pratique, on constate une incommunicabilité en temps réel entre les contrôleurs et un ordinateur travaillant sur des données différentes.

Ces problèmes peuvent être surmontés par la mise en œuvre d'un nouveau type d'évitement automatique que SESAR a retenu dans son programme sous le sigle « *Trajectory Control by minor Speed Adjustments* ».

On montre en effet que de *faibles variations* de vitesse longitudinale, latérale et verticale entrant *dans les limites des tolérances des Plans de Vol actuels* permettent de conférer :

- à l'ordinateur une *zone privative d'action*,
- à chaque avion une *zone privative de régulation* de ses paramètres de vol,

de telle sorte que ce mode de *résolution automatique des conflits* peut être *engagé au cas par cas sans coordination préalable avec les contrôleurs* puisqu'il n'a d'incidence ni sur leur travail ni sur l'ensemble du trafic.

Cette régulation ouvre un potentiel d'augmentation des séparations de plus de 16N.M. largement suffisante pour résoudre la quasi-totalité des conflits en dépit des « queues de distributions » relatives au vent.

Les informations concernant le vent actuellement disponibles sont suffisantes à cet effet.

Le projet « *ERASMUS, a friendly way for breaking the capacity barrier* » publiée par l'Institut du Transport Aérien (J.Villiers Juin 2004) a exposé et justifié ce *procédé* et proposé les *moyens* de sa mise en œuvre progressive vers une assistance automatisée de plus en plus extensive aux contrôleurs.

A ce jour, il n'existe pas de proposition compétitive permettant d'atteindre tous ces objectifs.

Les développements et expérimentations effectués par le Consortium ERASMUS confirment la faisabilité et l'efficacité de ce projet qui pourra être déployé progressivement dans le cadre des travaux de la SJU qui en a fait une de ses premières priorités.

TABLE DES MATIERES

- 1- Conflit/conflit potentiel
- 2- Le flou de la vision des contrôleurs
- 3- Le conflit et l'ordinateur
- 4- Le contrôleur et l'ordinateur
 - 4.1 Recherche des conflits
 - 4.2 Résolution des conflits
 - 4.3 Que peut-on faire ?
- 5- Assurance de « non-conflit »
- 6- Le contrôle subliminal
 - 6.1 La régulation de vitesse
 - 6.2. Relation avec les contrôleurs
- 7- Le contrôle latéral
- 8- Les potentialités du contrôle composite
- 9- La mise en oeuvre de ERASMUS
 - 9.1 Le côté contrôleur
 - 9.2 Le côté avion
 - 9.3 Une transition aisée
- 10- Faisabilité et efficacité d'ERASMUS
- 11-SESAR et ERASMUS
- 12- Conclusion

Objet de la contribution

Au stade actuel, les ordinateurs assurent l'acquisition et la présentation des informations au profit des contrôleurs, mais ne participent que d'une manière marginale à la *prévision* des conflits et pas encore à la *résolution des conflits*.

La présente étude se propose d'analyser le *croisement des causes météorologiques et humaines* à l'origine de cette situation et de mieux faire connaître comment un *nouveau procédé de contrôle* retenu dans le programme SESAR permet de les contourner.

1-Conflit/ Conflit potentiel

Deux avions sont dits en *conflit potentiel* tant qu'on ne peut pas être *certain* que leur séparation de sécurité sera respectée au point de croisement de leurs trajectoires.

En raison des *dispositions à prendre*, il est nécessaire de prévoir cette *éventualité* avec un préavis T suffisant.

La conduite du vol des avions est effectuée en *vitesse/air*, tandis que leur séparation est définie en *référence/ sol*.

Il s'ensuit que la prévision des heures d'arrivée au point de croisement est affectée de plusieurs sources d'erreur : connaissance de la vitesse/air, prévision du *gradient moyen du vent* sur les tronçons de trajectoire concernés.

Plus l'anticipation T est grande, plus élevées doivent être les marges prises.

Ces marges doivent résulter d'un compromis entre :

- le *taux de conflits non détectés*
- le *taux de faux conflits indûment détectés*.

Les conflits seront qualifiés de certains, de probables, de peu probables, de certainement « non-conflit ».

Quel que soit le compromis adopté, il convient de procéder à une *surveillance* de l'*évolution de la situation*.

Au fur et à mesure que le moment du conflit approche, la prévision peut être affinée de sorte que la qualification des conflits est à la fois de nature *aléatoire et évolutive*.

On rappelle que le système est protégé par l'évitement automatique d'urgence (TCAS) qui assure la sécurité en dernier ressort et agit à si court terme que l'influence du vent est négligeable.

2- Le flou de la vision des contrôleurs

Pour connaître la position future des avions, le contrôleur ne dispose que du Plan de Vol qui décrit les trajectoires des avions et du Radar qui donne avec précision leur *position actuelle* et une *indication très approximative de leur vitesse /sol*. Il procède à ces prévisions par une évaluation intuitive à laquelle il a été entraîné par une *longue expérience* et sans procéder à un véritable calcul mental.

Au caractère flou de cette évaluation s'ajoute l'incertitude résultant de son absence de connaissance précise du vent.

Dans la pratique du contrôle classique les contrôleurs :

♣ prennent des marges telles que les situations qu'ils considèrent comme des conflits sont nombreuses.

♣ résolvent d'une manière anticipée des conflits potentiels :

- pour éviter à *tout prix* de se trouver débordés ultérieurement face à plusieurs conflits à traiter d'urgence simultanément.

- pour alléger l'astreinte de surveillance de l'évolution de trop nombreuses paires d'avions.

On estime que 3 sur 4 des conflits potentiels résolus par le contrôleur n'auraient pas donné lieu à un conflit réel s'ils n'étaient pas intervenus.

Pour résoudre les conflits, les contrôleurs n'ont pas d'autre solution que de procéder à de *larges altérations de trajectoire* qui induisent des interactions avec le reste du trafic: changement de niveau ou évitement Radar.

La préparation et la conduite de ces évitements sont consommatrices de temps et d'attention de la part des contrôleurs.

3-Le conflit et l'ordinateur

Un ordinateur ayant accès aux données disponibles à bord des avions et aux sources les plus élaborées de prévision du vent peut calculer les positions futures avec une précision bien supérieure à celles qui sont estimées par les contrôleurs.

Il existe plusieurs sources de données disponibles concernant le vent en temps réel.

La MTO met à la disposition des utilisateurs le vent prévu calculé à partir des modèles recalés par des mesures de vent (notamment par recueil des informations transmises

en temps réel par les avions²).

Ces prévisions sont effectuées avec :

- une maille m (3 km dans le réseau US le plus moderne)
- un taux de renouvellement τ (une heure dans le réseau ci-dessus).

Lors de l'estimation des positions futures d'un avion donné ce modèle peut à nouveau être recalé et affiné par :

- la connaissance du *vent réel actuel* tel qu'il est connu *ici et maintenant* à bord des avions, c'est à dire par accès direct aux informations en temps réel, qui actuellement ne sont transmises par les Compagnies aériennes qu'aux services de la météorologie,
- le vent effectivement rencontré par les avions les ayant précédé sur ces mêmes trajectoires.

Au stade actuel d'automatisation du contrôle de la circulation aérienne ces données disponibles ne sont encore que très peu mises à profit.

De très grands progrès sont donc envisageables dans la mise à profit de la connaissance du vent et par conséquent dans la précision de l'estimation des positions futures des avions.

Comment utiliser ce précieux complément d'information ?

Note : En raison des incertitudes sur le vent futur, le « business flight plan », base des programmes SESAR et de NextGen, n'aura pas la précision nécessaire pour permettre à lui seul de prévoir les conflits sans tenir compte des prévisions vent local en temps réel.

4- Le contrôleur et l'ordinateur

4.1. Recherche des conflits

Comment faire bénéficier les contrôleurs des estimations plus précises effectuées par l'ordinateur ?

Ce problème d'apparence simple est en fait d'une *rare complexité* du fait de l'incommunicabilité en temps réel entre :

- ✧ un contrôleur sous pression cognitive intense face à un univers flou en constante évolution et
- ✧ un ordinateur dont les prévisions sont elles-mêmes évolutives et affectées d'une incertitude résiduelle.

Toute nouvelle information, et a fortiori tout dialogue avec l'ordinateur, introduit une coupure pénalisante dans les processus cognitifs d'analyse, de mémorisation et de

²

Les Compagnies aériennes sont rémunérées par la MTO pour ce service rendu

surveillance du contrôleur.

De nombreux centres de contrôle en route modernes sont dotés d'une liste des conflits, dite MTCD, tels que calculés par l'ordinateur. L'expérience montre que l'utilisation effective d'une telle liste par les contrôleurs n'a qu'un intérêt marginal en raison du caractère aléatoire et constamment évolutif des situations de conflit.

4.2. Résolution des conflits

Disposant de prévisions plus précises que celles des contrôleurs, l'ordinateur peut aussi élaborer de son côté des propositions de *résolution des conflits* (choix du mode de résolution, moment de son exécution).

Il existe de nombreux programmes très efficaces à cet effet. Mais qu'en faire ?

On pourrait imaginer que l'ordinateur soit programmé selon les méthodes dites d'*intelligence artificielle* de façon à se comporter comme un contrôleur réel et à pouvoir ainsi proposer des mesures d'évitement qui entrent dans le cadre de la stratégie évolutive qu'élaborent de leur côté les contrôleurs. Il s'agit actuellement d'une *utopie* irréalisable.

Il s'ensuit que les propositions de l'ordinateur effectuées sur des données différentes de celles dont dispose le contrôleur auraient très peu de chance de s'insérer harmonieusement dans la *stratégie évolutive* élaborée par le contrôleur et contribueraient plutôt à le distraire de la conduite de ses processus cognitifs en cours qu'à lui apporter une aide acceptable.

4.3. Que peut-on faire ?

Le fait que tous les ingrédients sont depuis longtemps disponibles sans avoir trouvé d'application effective montre bien qu'il s'agit d'un problème « complexe » : à la très grande *complication* des relations de n avions entre eux s'ajoute en effet la *complexité* du cerveau humain qui reste au centre du système !

Il existe cependant deux types d'action que peuvent entreprendre les ordinateurs au profit du contrôleur en toute indépendance du cours des processus cognitifs des contrôleurs :

- l'assurance de « non-conflit »
- le « contrôle subliminal »

5- Assurance de « non-conflit »

L'ordinateur peut détecter, parmi les cas douteux pour le contrôleur, ceux dont il peut assurer que les avions seront effectivement séparés à leur point de croisement d'une distance supérieure à la séparation de sécurité (5 N.M.).

Cette action d'apparence simple pose à son tour un très difficile problème compte

tenu du fait que, même si l'incertitude dans l'estimation du vent est prise en compte avec précaution (par exemple à 4σ), rien ne permet de négliger les « queues de distribution » notamment dans le cas d'une atmosphère particulièrement instable.

L'assurance de « non conflit » doit avoir une probabilité d'échec au plus égale à celle qui est couramment admise pour le déclenchement d'une alarme TCAS (10^{-5}).

On montrera ci-dessous comment il est possible de faire face à ce problème.

6- Le « contrôle subliminal »

6.1 La régulation de vitesse

Puisqu'il est impossible de faire *coopérer en temps réel* l'ordinateur et le contrôleur au profit de ce dernier, l'idée est venue de *profiter du flou de la vision du contrôleur* pour ouvrir à l'ordinateur un *domaine privatif d'action*.

Un *ajustement minime de la vitesse des avions* dans les limites de ce flou et initié suffisamment à l'avance permet de supprimer de nombreux conflits tout en étant indétectable par les contrôleurs.

Une telle action de nature *subliminale* vis à vis des contrôleurs n'est donc en aucune mesure de nature à influencer le cours de leur activité cognitive, à perturber leur stratégie ou à interférer avec le reste du trafic : elle peut donc être effectuée *sans coordination préalable avec les contrôleurs*.

Ce mode d'évitement présente de surcroît un avantage essentiel sur tout autre mode de résolution des conflits : chaque conflit peut être traité au *cas par cas sans créer aucune interférence avec l'ensemble du trafic*.

Ce *procédé original de contrôle* a été retenu par le projet SESAR. Il est le cœur du projet ERASMUS³ et a fait l'objet d'une des revendications fondamentales d'un brevet français en cours d'extension en Europe et aux USA.

6.2. Relations avec les contrôleurs

Pour tirer profit de ce *procédé*, on peut tout d'abord envisager une version que l'on dénommera *minimaliste* ou passive qui consiste à engager le contrôle subliminal et à laisser au contrôleur le soin d'apprécier, comme il le fait actuellement, les séparations entre les avions qui en résultent.

³ « ERASMUS, une voie conviviale pour franchir le mur de la capacité » J.Villiers in Institut du Transport Aérien Volume 58 Juin 2004

Le contrôleur constate ainsi par lui-même que le trafic se présente d'une manière miraculeusement fluide.

Cette version a le considérable avantage de permettre un *stade précoce* de mise en œuvre opérationnelle du contrôle subliminal sans nécessiter de moyens complémentaires sur la position de contrôle. De surcroît, les Centres de Contrôle équipés de MTCD et donc de calcul des séparations sont d'emblée en mesure de procéder au contrôle subliminal.

Dans les stades suivants, l'ordinateur prendra la *responsabilité* de garantir aux contrôleurs que la séparation des paires d'avions sera effectivement assurée.

On se heurte alors au problème des *queues de distribution* de la prévision du gradient de vent déjà analysé ci-dessus.

Ce problème peut être résolu grâce à la mise en œuvre du *contrôle latéral* de la vitesse des avions.

7- Le contrôle latéral

Les potentialités des faibles variations de vitesse *longitudinale* sont longtemps passées inaperçues ; c'est encore plus le cas du contrôle *latéral*.

Sans que cela soit évident a priori, l'action sur les *écarts latéraux* est particulièrement intéressante à plusieurs titres :

- la source d'information est constitué par des moyens de navigation (notamment GPS) ayant une référence terrestre donc *indifférente au vent*
- la précision de guidage latéral est désormais devenue d'un *extrême précision* (0.02n.m.)
- les *potentialités en terme d'augmentation des séparations* sont beaucoup plus grandes que celles du contrôle longitudinal.

Sur ce dernier point, on constate avec grande surprise que le déplacement de chacun des deux avions sur la limite bâbord ou tribord d'une voie aérienne de +/- 5 N.M. de large *augmente leur séparation* du fait que le point de convergence des trajectoires se trouve en effet déplacé de telle sorte qu'un des avions aura un parcours supérieur et l'autre un parcours inférieur jusqu'au point de croisement.

Le *volume délimité par les tolérances du Plan de Vol actuel* constitue ainsi un *domaine privatif* au sein duquel il est possible de faire évoluer chaque avion sans créer d'interférences :

- avec le reste du trafic

- avec les processus cognitifs des contrôleurs.

On montrera ci-dessous que ces faibles variations de vitesses sont suffisantes pour résoudre la quasi totalité des conflits.

Cette novation pourra être mise en œuvre à deux fins possibles :

- à titre complémentaire en vue de « couper les queues de distribution »
- à titre principal en complément du contrôle longitudinal sous forme d'un *contrôle composite*.

Initié 15 minutes à l'avance, le contrôle latéral n'exige qu'une variation de trajectoire de moins de 3 degrés de la part de chaque avion ; chaque allongement de trajectoire est compensé par la diminution d'une autre.

On notera que le contrôle latéral n'est pas strictement subliminal : le contrôleur peut en prendre conscience sur son écran Radar dès lors qu'un avion s'éloigne légèrement de sa trajectoire nominale, mais il saura qu'il n'y a pas lieu d'y prêter attention.

8- Les potentialités du contrôle composite

On prendra mieux conscience du potentiel offert par le jeu du contrôle par de *faibles variations des paramètres de vol* des avions si l'on considère que :

- le nombre de conflits réels en route sur un point de croisement donné est naturellement très faible ; en effet, si les avions étaient régulièrement espacés, la capacité serait de l'ordre de 180 avions/heure (vitesse des avions 450kts, séparation 5 N.M.)⁴,
- le contrôle subliminal longitudinal offre la possibilité d'augmenter la séparation naturelle des avions d'au moins 6 N.M. avec toutefois un degré d'incertitude concernant la prévision du gradient de vent, notamment dans le cas où l'atmosphère est particulièrement instable,
- le contrôle latéral offre une possibilité d'augmenter *en toute indépendance du vent* les séparations naturelles d'un nombre de miles nautiques supplémentaires d'autant plus grand que l'angle des trajectoires est lui-même plus élevé.

On dispose ainsi d'un potentiel *d'augmentation des séparations naturelles* de l'ordre de 10 N.M. et de beaucoup plus dans la très grande majorité des cas.

⁴ Ce qui montre que le ciel en route est très loin d'être saturé et que ce sont les limites des capacités cognitives et mnémoniques du cerveau humain qui fixent celles de la capacité du système !

⁵ Soit de l'ordre de 3 N.M. pour un angle entre les trajectoires de 30°, de 7 N.M. Pour un angle de 90° et beaucoup plus au delà, étant constaté en compensation que la corrélation entre les gradients de vent est d'autant plus grande que l'angle de coupe est plus faible.

Ce potentiel est très largement suffisant pour *garantir à coup sûr* la sécurité *même en cas de vents particulièrement instables*. Entre différents paramètres dont l'angle de coupe des trajectoires et le degré estimé d'instabilité du vent l'ordinateur procèdera au choix des solutions optimales à mettre en œuvre en toute sécurité ou au renoncement à mettre en œuvre une solution s'il n'est pas certain de pouvoir en assurer la sécurité.

On rappelle que l'objectif du procédé n'est pas de résoudre la totalité des conflits (c'est-à-dire un système entièrement automatisé) mais de réduire progressivement le nombre de conflits que le contrôleur doit prendre en charge ainsi que d'augmenter la sécurité

Il devient dès lors possible d'augmenter d'une manière déterminante le service rendu au contrôleur au *delà de la solution minimaliste* envisagée ci-dessus.

9- La mise en œuvre d'ERASMUS

9.1. Le côté contrôleur

Outre le *procédé* décrit ci-dessus, le projet ERASMUS comprend de *nombreux dispositifs*, au delà de la solution minimaliste évoquée ci dessus, qui pourront être mis progressivement en œuvre :

- un tableau des « non-conflits » (naturels ou sous contrôle des vitesses)
- la surveillance automatique de l'évolution des séparations calculées
- la prévention très en amont des « clusters » de conflits
- une visualisation originale dite « Dynamic Separations Display » : chaque paire d'avions est représentée avec en abscisse la durée avant le moment du conflit et en ordonnée la séparation calculée : cet outil de vigilance apportera sans doute un outil d'aide au contrôleur aussi important que l'a été l'introduction du Radar par rapport au contrôle aux procédures.
- à titre de sécurité complémentaire, transfert aux avions de la responsabilité du déroulement du contrôle des vitesses (ASAS).

Note- Le processus de contrôle des vitesses peut être initié à bord des avions puisqu'il donne lieu à des évitements *au cas par cas* n'ayant aucun impact sur le reste du trafic et sur le travail des contrôleurs, ce qui permet d'ouvrir la voie à un futur système décentralisé que *tout autre mode d'évitement rendrait impossible*.

9.2. Le côté avion

Plusieurs processus de prévision et de régulation des vitesses peuvent être envisagés :

- calcul au sol en tenant compte des prévisions de vent et fixation aux avions d'une *vitesse/air*.
- calcul au sol des séparations prévisionnelles et fixation en tant que de besoin à chaque avion d'une *heure d'arrivée au point de croisement* (RTA), les FMS des avions assurant la régulation nécessaire,
- idem en introduisant dans le calcul au sol les prévisions de gradient de vent sur les tronçons de vol considérés,

La première solution, que l'on peut qualifier de *minimaliste*, a pour avantage de ne pas nécessiter de modifications des FMS pour les rendre apte à réguler une RTA et de permettre ainsi de procéder rapidement à une première phase de mise en *service opérationnel*.

9.3. Une transition aisée

L'association des *solutions minimalistes* à bord des avions et au profit des contrôleurs, exposées ci-dessus, permet de procéder *dès maintenant* à une première phase de mise en œuvre du procédé ERASMUS.

Les contrôleurs pourront ainsi se familiariser avec cette novation sans changement de leur méthode de travail et participer progressivement à l'élaboration des moyens complémentaires offerts pour une pleine exploitation des potentialités de l'ensemble du projet ERASMUS ; de leur côté, convaincues qu'une voie nouvelle est enfin effectivement ouverte, les Compagnies aériennes seront incitées à s'équiper progressivement de FMS aptes à tenir un RTA.

La transition vers un système de plus en plus automatisé d'assistance aux contrôleurs sera ainsi progressive et justifiera, on l'espère, l'acronyme ERASMUS (towards *En Route Atc Soft Management Ultimate System*)

10- Faisabilité, efficacité d'ERASMUS

A la suite de l'accueil très favorable, parfois enthousiaste, notamment de la part des contrôleurs, de l'étude ERASMUS publiée par l'Institut du Transport Aérien (Juin 2004), un consortium international dit Consortium ERASMUS s'est rapidement constitué en 2006 pour procéder aux études de faisabilité et d'efficacité de ce projet sous contrat de la Commission Européenne.

Ce consortium :

- a démontré que des variations de vitesse longitudinale de +/- 3 % sont indétectables par les contrôleurs

- a développé avec succès un logiciel de recherche/résolution des conflits par faibles variations des vitesses
- a montré que plus de 80% des conflits peuvent être ainsi supprimés (soit un conflit résiduel par secteur toutes les 10 minutes).
- a expérimenté en milieu opérationnel (Centre de Contrôle Régional d'Aix en Provence) la résolution des conflits par le jeu de variations de la vitesse longitudinale qui a reçu le meilleur accueil des contrôleurs et des pilotes.
- a montré que la mise en œuvre ne nécessite pas une formation spécifique des contrôleurs mais une simple et rapide familiarisation.
- a laissé le pilote dans la boucle pour l'entrée à bord des instructions.

Le Consortium a atteint son objectif essentiel de démontrer la faisabilité et l'efficacité du procédé ERASMUS.

Dans le temps imparti, il n'a pas pu procéder à toutes les déclinaisons possibles de mise en œuvre progressive du procédé telles qu'on les a rappelées ci-dessus. Il s'est essentiellement consacré :

- au contrôle des vitesses longitudinales
- au contrôle des vitesses par RTA à bord des avions (ce qui requiert une profonde modification des FMS),
- à la solution dite minimaliste d'utilisation par les contrôleurs.

11- SESAR et ERASMUS

Le projet ERASMUS est le fruit d'une étude personnelle de son auteur. Son approche est du type « *bottom up* », c'est à dire qu'elle s'appuie, comme on l'a montré ci-dessus, sur une analyse approfondie des raisons du blocage de l'évolution du contrôle en route et sur la recherche des moyens de contourner les obstacles rencontrés.

De son côté, la Commission Européenne s'est émue à son tour du manque d'un projet novateur permettant de faire face à la croissance du trafic.

Le Consortium SESAR, qui a été installé en conséquence, s'est attelé à cette tâche en décidant de procéder par une approche « *top down* » c'est à dire en commençant par se fixer des objectifs en terme de capacité et de sécurité puis en proposant une voie pour les atteindre.

Les deux projets ont considéré l'un et l'autre que le contrôleur restera au centre du système et continuera à assumer la responsabilité de la sécurité.

Procédant de deux approches complémentaires ces deux projets devaient se compléter

harmonieusement.

SESAR s'est d'autant plus naturellement intéressé au projet ERASMUS que sa faisabilité et son efficacité avaient déjà été démontrées dans le cadre des travaux du Consortium ERASMUS.

Le rapport SESAR a ainsi intégré le *procédé ERASMUS* dans son propre projet et l'a dénommé TC-SA selon son contenu fonctionnel (Trajectory Control by minor Speed Adjustments) » dont il a défini la substance (sous la rubrique CM0403) dans les mêmes termes que ceux d'ERASMUS à savoir :

*« Conflict dilution by upstream action on speeds to « dissolve » conflicts by minor speed adjustments of flight parameters (vertical/horizontal, rate of climb/descent) not directly perceivable by the controller and not conflicting with their own action and responsibility.
This air-ground cooperative and human centred ATC automation allows transition towards further automation while respecting the operator cognitive processes. »*

Le rapport SESAR a laissé le soin à l'Entreprise Commune SESAR (SJU), qui a dorénavant pris le relais de ses travaux, d'étudier les problèmes posés par l'imprécision de la connaissance du vent sur les prévisions de conflit, ainsi que de préciser et de mettre en œuvre les moyens nécessaires pour tout le parti du procédé ERASMUS.

Le rapport SESAR prévoit le déploiement du contrôle par faibles variations des vitesses longitudinales à un horizon très approché (2012) ; cette opération figure dans le « package IP1 » considéré prioritaire à tel point que « any delay or failure to implement IP1 will impact the rest of the ATM deployment sequence » (SESAR D4)

Il appartient au SJU de construire un programme de développement/déploiement progressif qui selon toute évidence débutera par la combinaison des solutions dites minimalistes à bord (calcul au sol d'une nouvelle vitesse/air compte tenu du vent estimé) et au sol (sans procéder à des ajouts sur les positions de contrôle).

Le rapport SESAR prévoit le déploiement du contrôle longitudinal par faibles variations des vitesses longitudinales à un horizon très approché (2012)⁵ et considère que le succès de cette opération est *essentiel* à celui de l'ensemble du projet concernant le contrôle en route⁶.

12-CONCLUSION

⁵ SESAR (D4), page 9

⁶ Le TC-SA fait partie du package IP1 jugé prioritaire à tel point que « any delay or failure to implement IP1 will impact the rest of the ATM deployment sequence » (SESAR D4)

12.1- Du côté de la météorologie

De ce bref survol, on peut conclure que :

- la prévision du gradient de vent sur les tronçons à parcourir joue un grand rôle dans le calcul des séparations des avions.
- les données nécessaires à cette prévision du vent sont d'ores et déjà disponibles (données établies par les services météorologiques, données en temps réel disponibles à bord des avions) et peuvent être complétées dans les Centres de Contrôle par la connaissance du vent antérieurement rencontré par les avions sur ces mêmes tronçons de trajectoire.
- la répartition statistique des erreurs de prévision du vent n'est certainement pas strictement gaussienne, notamment dans les conditions de plus grande instabilité aérologique : des *queues de distribution* resteront inévitables.
- l'assurance que deux avions seront effectivement séparés avec le degré de sécurité absolu exigé impose donc de prendre les dispositions nécessaires.
- les données disponibles en temps réel sur le vent sont suffisantes sous réserve d'être effectivement utilisées !
- pour bien définir les modalités de mise en oeuvre du système futur, il serait appréciable de mieux connaître la répartition statistique des erreurs de prévision des *gradients moyens de vent* sur des tronçons de 15 minutes de vol c.à.d le σ du cœur de distribution + la probabilité d'occurrence de larges *queues de distribution* en fonction de l'état estimé de l'instabilité atmosphérique.

12.2. Du côté du contrôleur

Deux obstacles majeurs ont bloqué, jusqu'à présent la mise à profit de ces prévisions sous forme d'aide automatisée au contrôleur :

- la répartition statistique des erreurs de prévision du vent n'est pas strictement gaussienne,
- les propositions de résolution des conflits établies par un ordinateur selon des évitements classiques (changement de niveau, évitement Radar) impliquent de prendre en compte leurs conséquences sur *l'ensemble du trafic* et n'ont aucune chance de s'insérer dans la stratégie des contrôleurs établie au vu de très *nombreuses autres considérations et sur des données moins précises.*

C'est pourquoi le rapport SESAR a retenu un nouveau *procédé* de contrôle, qu'il a dénommé TC-SA (Trajectory Control by minor Speed Adjustments), procédé qui sera

susceptible de permettre de contourner ces deux obstacles du fait que ce mode d'évitement :

- ouvre aux ordinateurs un *domaine privatif d'action* autonome sans créer d'interférence avec le reste du trafic ni avec le travail des contrôleurs
- confère à chaque avion un *domaine privatif d'évolution* de ses paramètres de vol
- permet d'augmenter suffisamment les séparations entre les avions en s'accommodant de grandes erreurs sur la prévision du vent.

Ce procédé pourra commencer à être mis en œuvre à très brève échéance sous une forme que l'on a qualifiée de *minimaliste* (sans changement des FMS ni modification des positions et des méthodes de contrôle).

ERASMUS est le premier projet ayant proposé ce *procédé* et ayant décrit les *dispositifs* assurant la transition vers une assistance automatisée progressive laissant, à tous ses stades, le contrôleur maître d'une situation d'autant plus facile à maîtriser que

-le nombre de conflits résiduels deviendra de plus en plus faible

-le contrôleur disposera de tous les dispositifs nécessaires pour se tenir informé et pour assurer une vigilance constante sur l'évolution de la situation.

Ce projet satisfait toutes les conditions fixées par le rapport SESAR.

A ce jour, il n'existe pas de proposition compétitive permettant d'atteindre tous ces objectifs.

Mr Peter Sorensen, Directeur de l' IATA Europe pourra voir ainsi réalisé son souhait⁷ de bénéficier d'un « quick return » de SESAR dont les effets progressifs pourront sans doute dépasser ses propres espérances.

L'opportunité offerte par ce Colloque est particulièrement bien venue pour souhaiter ... *bon vent* à l'Entreprise Commune SESAR !

7